

Худжасаидов Дж.Х.¹, Русина А.Г.², Матренин П.В.², Дмитриев С.А.³, Сафаралиев М.Х.³

¹Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, г. Душанбе, Республика Таджикистан

²Новосибирский государственный технический университет

³Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ В ИЗОЛИРОВАННЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМАХ

Составление планов ведения режимов нельзя представить без прогнозов, ведь от них напрямую зависит качество всего процесса управления режимами. Электропотребление и графики нагрузки являются основой для составления энергетических балансов, поэтому именно им уделяется особое внимание. К достоверности прогнозных балансов предъявляются очень высокие требования. На протяжении многих лет самым распространенным способом описания электропотребления является временной ряд. Для его создания необходимо знать параметры (амплитуды, частоты и фазы) составляющих гармоник. Рассмотрена задача моделирования электропотребления и графиков нагрузки ЭЭС со специфическими свойствами, основанной на применении методов искусственного интеллекта. В работе рассматриваются различные методы моделирования графиков нагрузки и электропотребления (применение рядов Фурье, градиентная оптимизация, методы, основанные на роевых интеллектах), которые подразумевают под собой подбор необходимых коэффициентов. Все это поможет привести к улучшению достоверности прогнозов и даст возможность расширить использование информационных технологий при планировании режимов ЭЭС. В качестве инструмента применялось экспериментальное программное обеспечение, разработанное авторами, которое имеет свидетельство о государственной регистрации. Для верификации универсальности рассматриваемых методов подбора коэффициентов дополнительно были рассмотрены объединенная энергосистема Сибири и изолированная электроэнергетическая система Горно-Бадахшанская автономная область (ГБАО).

Ключевые слова: прогнозирование электропотребления, временной ряд, ряд Фурье, градиентный метод, метод роя частиц, метод роя пчел.

ВВЕДЕНИЕ

Целью прогнозирования является предвидение значений электропотребления в численной форме и конфигурации графики нагрузки на период упреждения. Очевидно, что чем выше точность прогноза, тем выше надежность и экономичность, а также появляется возможность поддерживать качество электроэнергии более эффективно [1].

Объектом исследования является электроэнергетическая система ГБАО – регион Республики Таджикистан. Здесь основными потребителями электроэнергии являются население, государственные организации и малый бизнес. Исходными данными для анализа являются технико-экономические характеристики основного электрооборудования, которое находится на балансе ОАО «Памир Энерджи», электрические схемы распределительных сетей, структура мощностей нагрузок и генерирующих мощностей, балансы по производству и потреблению электрической энергии и гидрологические данные.

Чаще всего в задачах энергетики анализ, моделирование и прогнозирование электропотребления проводятся на основе временных рядов [2].

В общем виде уравнение временного ряда будет выглядеть следующим образом:

$$P(t) = a_0 + a_1 t + a_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2) + a_3 \sin(\omega_3 t + \varphi_3), \quad (1)$$

где a_0 – постоянная составляющая; a_n – амплитуда; ω – частота; φ – фаза сдвига.

Целью настоящей работы является проведение исследования по применению четырех методов отыскания оптимальных коэффициентов для приведенной конфи-

гурации временного ряда: ряды Фурье (подбор коэффициентов «вручную»), градиентный спуск, метод роя частиц, метод роя пчел на примере ЭЭС ГБАО. В результате ожидается получить сводный анализ рассматриваемых методов по критерию минимума ошибки.

Исходной информацией являются данные по электропотреблению (среднемесячные значения мощности) за 8 лет, в периоды с 2007 – 2011 года и с 2014–2016 гг. То есть имеется «разрыв» в исходных данных. Это является дополнительным предметом рассмотрения: насколько «устойчивы» рассматриваемые методы моделирования к такому прерывистому характеру анализируемого временного ряда.

Средняя ошибка модели будет определяться как среднее значение отклонения модели от фактических данных по всей выборке, определяемых по формуле:

$$\delta = \frac{|P_{\text{факт}} - P_{\text{модель}}|}{|+_{\text{факт}}|} 100\%, \quad (2)$$

где $P_{\text{факт}}$ – фактическое значение мощности, МВт; $P_{\text{модель}}$ – значение мощности электропотребления, полученное с помощью модели, МВт.

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУРЬЕ

Временной ряд, отражающий изменение электропотребления, всегда содержит тренд, показывающий устойчивые систематические изменения и периодическую составляющую – колебания относительно тренда. Для получения его приближенной модели можно применить дискретное преобразование Фурье (ДПФ).

После применения ДПФ получаем массив комплексных чисел, каждое из которых содержит сведения о соответствующей гармонике исходного временного ряда. Амплитудно-частотный спектр для одного из рассматриваемых рядов (суточный график нагрузки) показан на **рис. 1**.

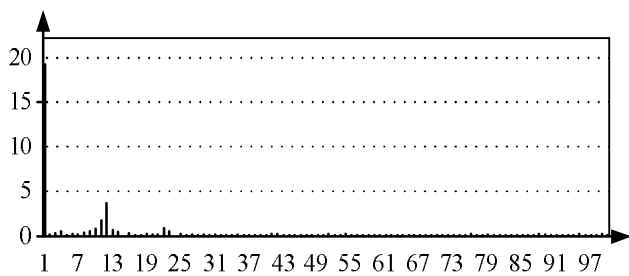


Рис. 1. Амплитудно-частотный спектр временного ряда

Из спектра хорошо видно постоянную составляющую и гармоники, образующие локальные максимумы на спектре (11-я и 21-я гармоники). Частоты в герцах можно определить по формуле

$$\omega = \frac{2\pi H}{L}, \tag{3}$$

где H – номер гармоники; L – размер временного ряда, т.е. количество рассматриваемых точек, составляющих ряд.

ГРАДИЕНТНЫЙ СПУСК

Можно использовать градиентный спуск для моделирования поведения электрической нагрузки, с течением времени самостоятельно задаваясь начальными приближениями. Но целесообразнее будет использовать метод градиентного спуска в качестве оптимизационного для метода дискретного преобразования Фурье. То есть градиентный спуск будет начинать процесс с решения, найденного ДПФ и затем улучшать модель, снижая ее среднюю ошибку.

Градиент – частная производная функции. Одно из его свойств заключается в том, что он указывает направления наибольшего возрастания функции. В целях оптимизации стоит обратить внимание на антиградиент – вектор, направленный в сторону убывания функции.

Так, целевой функцией будет функция ошибок (отклонение модели от фактических данных) и критерий оптимизации – минимум этой ошибки.

В градиентном спуске движение, как правило, осуществляется в направлении наибольшего убывания целевой функции [3]. При этом используется рекуррентное соотношение:

$$X^{i+1} = X^i - t^i \nabla F(X^i), \tag{4}$$

где i – номер итерации; t^i – величина шага алгоритма; $\nabla F(X^i)$ – антиградиент функции.

АЛГОРИТМ РОЯ ЧАСТИЦ

Алгоритм роя частиц (Particle Swarm Optimization – PSO) был изначально разработан для моделирования социального поведения и основан на поведении стай птиц [3]. В 1995 году Дж. Кеннеди и Р. Эберхарт предложили этот метод для решения задач непрерывной глобальной оптимизации [4].

Основная идея алгоритма заключается в представлении допустимых решений оптимизационной задачи в

виде так называемых частиц. Перемещая частицы по определенным правилам, алгоритм при этом перебирает решения задачи, стремясь найти ее экстремум. При этом алгоритм работает, используя следующие принципы [5]:

- стремление частиц двигаться на направлении улучшения целевой функции;
- стремление частиц к наилучшему решению среди всех частиц;
- инерционные свойства движения;
- стохастические отклонения.

Подробное описание алгоритма роя частиц уже приводилось в журнале [6].

АЛГОРИТМ РОЯ ПЧЕЛ

Алгоритм роя пчел (Artificial Bee Colony Algorithm или Bees Algorithm) разработан группой авторов и опубликован в 2005 году [7, 8]. Метод основан на симуляции поведения пчел при поиске нектара. Рой пчел отправляет несколько разведчиков в случайных направлениях для поиска нектара. Вернувшись, разведчики сообщают о найденных на поле участках с цветами, содержащими нектар, и на них вылетают остальные пчелы. При этом чем больше на участке нектара, тем больше пчел к нему устремляется, но пчелы могут случайным образом отклоняться от выбранного направления. После возвращения всех пчел в улей вновь происходит обмен информацией и отправка пчел-разведчиков и пчел-рабочих. Фактически разведчики действуют по алгоритму случайного поиска [9].

Для перехода к формальному описанию алгоритма необходимо представить поле с цветами как пространство поиска решения, а количество нектара как критерии задачи оптимизации, то есть целевую функцию. На каждом шаге работы алгоритма среди всех агентов выбирается n^b лучших по значению целевой функции, среди прочих выбирается еще n^g лучших, так называемых «выбранных» или «перспективных». В некоторых вариантах алгоритма требуется, чтобы расстояния между каждой парой позиций в объединенном множестве лучших и выбранных позиций не превышали определенной величины [10]. Иными словами, если есть две близкие позиции, то худшая из них по значению целевой функции отбрасывается, вместо нее берется позиция другого агента, подходящая под условия.

Согласно схеме описания роевых алгоритмов [11], алгоритм роя пчел ABCO можно представить следующим образом:

1. Множество агентов (пчел) $S = \{s_1, s_2, \dots, s_{|S|}\}$, при этом $s_{ij} = X_{ij} = \{x_{ij}^1, x_{ij}^2, \dots, x_{ij}^d\}$.

2. Средством косвенного обмена M является список лучших и перспективных позиций, найденных на j -й итерации, $M = \{N_{ij}^b, N_{kj}^g\}$, $i = 1, \dots, n^b, k = 1, \dots, n^g$.

3. Алгоритм A описывает механизмы функционирования роя пчел.

3.1. Инициализация начальных положений выполняется только для подмножества агентов, называемых

разведчиками:

$$X_{i1} = \text{rand}(0,1), i = 1, \dots, n^s,$$

где n^s – количество пчел-разведчиков.

3.2. Вычисление фитнес-функций выполняется на первой итерации только для разведчиков, а на следующих – для всех агентов.

3.3. Миграция пчел. Среди всех агентов выбираются nb агентов с наилучшими значениями целевой функции, а из оставшегося множества еще ng агентов по тому же принципу. Используя эти два набора, формируются списки лучших и перспективных позиций:

$$M = (N_{ij}^b, N_{kj}^g).$$

При этом между любыми двумя позициями в M должно быть расстояние не меньше rx . В окрестность каждой лучшей позиции отправляется c^b пчел, в окрестность каждой перспективной – c^g пчел:

$$X_{(i-1)cb+kj} = N_{ij}^b + \text{rand}(-1,1)\text{rad};$$

$$i = 1, \dots, n^b, k = 1, \dots, c^b;$$

$$X_{nbc+(i-1)cg+kj} = N_{ij}^g + \text{rand}(-1,1)\text{rad};$$

$$i = 1, \dots, n^g, k = 1, \dots, c^g.$$

В конце итерации пчелы-разведчики отправляются в случайные позиции:

$$X_{nbc+ngcg+ij} = \text{rand}(-1,1)\text{rad},$$

$$i = 1, \dots, n^s.$$

Если не выполнено условие остановки, переход к пункту 3.2.

Для применения алгоритмов роевого интеллекта к такой постановке задачи необходимо добавить только ограничения на параметры модели (нижнюю и верхнюю границы). Значения границ можно определить из анализа временного ряда. При этом нет необходимости точно определять область допустимых значений, можно задать их с большим запасом.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В рамках работы было создано экспериментальное программное обеспечение, позволяющее производить подбор коэффициентов временного ряда заданной конфигурации (уравнение (1)). Основная функция программы заключается в том, что при задании входной информации в виде массива данных и выборе способа решения (ДПФ, градиентный спуск, роевые алгоритмы) производится расчет коэффициентов и среднее значение отклонения модели от фактических данных по всей выборке.

Для сравнения все коэффициенты временных рядов, полученные разными методами, сведены в **табл. 1**.

Видно, что наиболее точной оказалась модель, полученная с помощью метода роя частиц, в то время как рой пчел показал самую большую ошибку. Возможно

это связано с необходимостью настройки эвристических параметров алгоритма.

Для верификации универсальности рассматриваемых методов подбора коэффициентов дополнительно была рассмотрена объединенная энергосистема Сибири. Для нее были проведены аналогичные расчеты, но были рассмотрены данные с другой степенью дискретизации. Для ЭЭС ГБАО рассматривались среднемесячные значения мощности, в то время как для ОЭС Сибири – среднесуточные. Результаты приведены в **табл. 2**.

На **рис. 2** показаны графики фактического электропотребления и модель, полученная методом роя пчел (как наиболее точная).

Если сравнивать между собой результаты, полученные при использовании разных методов для обоих объектов, то можно заметить, что для них метод роя частиц дает наименьшую ошибку, метод роя пчел – наибольшую. Модель, созданная с помощью ДПФ, показывает удовлетворительное значение ошибки, которую значительно сокращает градиентная оптимизация, выполненная последовательно с ДПФ.

Таблица 1

Коэффициенты временных рядов и средние ошибки моделей

	ДПФ	ДПФ + Градиент	Рой частиц	Рой пчел
a_0 , МВт	18,95	18,95	18,9	19,25
a_1 , МВт	0,0043	0,0048	0,0047	-0,0022
a_2 , МВт	8,8	8,8	2,49	7,48
w_2 , Гц	0,5237	0,5239	5,2382	6,8
φ_2	1,009	1,009	2,135	0,61
a_3 , МВт	2,59	2,59	8,59	-0,11
w_3 , Гц	1,047	1,047	5,76	4,57
φ_3	0,785	0,785	2,172	0,25
δ , %	6,95	6,94	6,8	11,38

Таблица 2

Средние ошибки моделей для разных ЭЭС, %

	ДПФ	ДПФ + Градиент	Рой частиц	Рой пчел
Памир	6,95	6,94	6,8	11,4
ОЭС Сибири	4,5	4	2,38	10,8

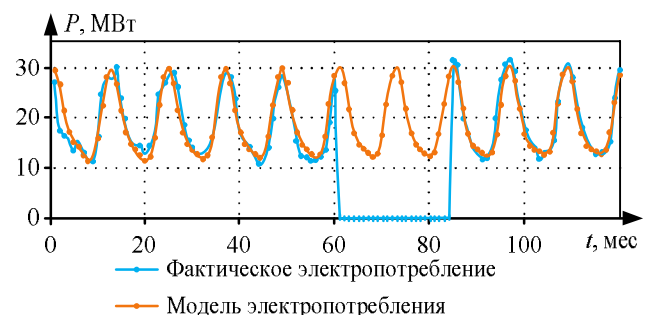


Рис. 2. Модель электропотребления, полученная методом роя частиц

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Была рассмотрена электроэнергетическая система ГБАО – регион Республики Таджикистан, для которой актуальна задача повышения эффективности управления ее режимами, в связи с вводом дополнительных генерирующих мощностей. В новых условиях требуется уделить особое внимание разработке методов, моделей и принципов управления ЭЭС, а именно электропотреблению и графикам нагрузки – как основе в составлении энергетических балансов.

Основной задачей являлось рассмотрение возможных способов получения временных рядов, на основе которых выполняется моделирование и прогнозирование электропотребления, а именно применение преобразования Фурье, градиентного спуска и использование роевых интеллектов (рой частиц и рой пчел). Все эти методы имеют как преимущества, так и недостатки.

Так, преимущество преобразования Фурье заключается в том, что оно дает возможность получить некоторые сведения об анализируемом ряде. В рассматриваемом случае ДПФ подтвердил наличие постоянной составляющей и двух гармоник. Полученную модель можно затем скорректировать, изменяя значения амплитуд, частот и фаз вручную. Однако из-за ограниченного размера временного ряда, погрешностей дискретизации частот полученная таким образом модель требует уточнения.

Недостатком градиентного спуска является сильная зависимость от начального приближения и высокая вероятность преждевременной сходимости в локальном экстремуме. Поэтому целесообразно применять данный метод совместно с другим, например с преобразованием Фурье. Тогда процесс поиска оптимальных коэффициентов начинался бы с решения, найденного ДПФ, тем самым уменьшая среднюю ошибку модели.

Если известна общая форма искомой модели временного ряда, то можно значительно упростить поиск точной модели с помощью алгоритмов роевого интеллекта. Для этих алгоритмов не нужно находить начальное приближение или модифицировать алгоритмы под конкретную форму временного ряда. Необходимо только добавить ограничения на параметры модели (нижнюю и верхнюю границы, тем самым уменьшить пространство решений). Эти границы можно определить из анализа временного ряда. При этом нет необходимости точно определять область допустимых значений, можно задать их с большим запасом. К недостаткам использования роевых интеллектов можно отнести большее время на поиск решения, чем в случае применения ДПФ с последующей оптимизацией. Но при этом можно ожидать более высокую точность решения и высокую гибкость. Например, для случая, когда гармоники временного ряда меняют свои параметры во времени, ДПФ окажется малоэффектив-

ным. При этом для алгоритмов роевого интеллекта, зная примерную форму закона изменения указанных параметров, можно внести соответствующие изменения в модель и получить более точные результаты.

В рассматриваемом случае наиболее эффективным методом оказался метод роя частиц, показав ошибку модели 6,8%, в то время как рой пчел, наоборот, оказался наименее точным – 11,38%. Также можно считать эффективным применение ДПФ с последующей оптимизацией его решения – 6,94%. Можно судить об универсальности использования рассматриваемых методов, так как они показали свою эффективность и при анализе ОЭС Сибири.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филиппова Т.А. Энергетические режимы электрических станций и электроэнергетических систем: учебник. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005. 300 с. (Серия «Учебники НГТУ»).
2. Shen W., Babushkin V., Aung Z., Woon W. An ensemble model for day-ahead electricity demand time series forecasting. In: Proceedings of the Fourth International Conference on Future Energy Systems, pp. 51-62. ACM, New York (2013).
3. Филиппова Т.А., Сидоркин Ю.М., Русина А.Г. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем: учебник. 2-е изд. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. 356 с.
4. Карпенко А.П. Популяционные алгоритмы глобальной оптимизации. Обзор новых и малоизвестных алгоритмов // Приложение к журналу «Информационные технологии». 2012. №7. С 1-32.
5. Kennedy J., Eberhart R. Particle Swarm Optimization. Proc. of IEEE International Conference on Neural Network, 1995, pp. 1942-1948. doi: 10.1109/ICNN.1995.488968.
6. Манусов В.З., Матренин П.В., Орлов Д.В. Оптимизация коэффициентов трансформации с применением алгоритмов направленного перебора и роевого интеллекта // Проблемы региональной энергетики. 2017. № 1 (33). С. 15-23.
7. Eberhart R.C., Shi Y. "Particle swarm optimization: developments, applications and resources," in Proc. Congress on Evolutionary Computation, vol. 1, pp. 81-86, 2001. doi: 10.1109/CEC.2001.934374.
8. Pham D.T., Ghanbarzadeh A., Koc E., Otri S., Rahim S., Zaidi M. The Bees Algorithm - A Novel Tool for Complex Optimisation Problems [Электронный ресурс] // Technical Note. Manufacturing Engineering Centre. Cardiff University. UK. 2005. URL: <https://svn-d1.mpi-inf.mpg.de/AG1/MultiCoreLab/papers/Pham06%20The%20Bee%20Algorithm.pdf>.
9. Karaboga D. An idea based on honey bee swarm for numerical optimization [Электронный ресурс] // Technical report TR06. Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department. 2005. URL: http://mf.erciyes.edu.tr/abc/pub/tr06_2005.pdf.
10. Metaxiotis, K., Kagiannas, A., Askounis, D., Psarras, J. Artificial intelligence in short-term electric load forecasting: a state-of-the-art survey for the researcher. Energy Convers. Manag. 44, 1525-1534 (2003).
11. Матренин П.В. Описание и реализация алгоритмов роевого интеллекта с использованием системного подхода // Программная инженерия. 2015. №3. С. 27-34.

Поступила в редакцию 03 июля 2020 г.

INFORMATION IN ENGLISH

DEVELOPMENT OF MODELS FOR THE FORECASTING OF ELECTRICITY CONSUMPTION BASED ON TIME SERIES IN ISOLATED ELECTRICAL POWER SYSTEMS

Jahongir Kh. Khujasaidov

Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Department of Electric Stations, Tajik Technical University, Dushanbe, Tajikistan. E-mail: jahon_nstu@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3433-9742>.

Anastasia G. Rusina

D.Sc. (Engineering), Professor, Head of the Department of Electric Stations, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia. E-mail: rusina@corp.nstu.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2591-4162>.

Pavel V. Matrenin

Ph.D. (Engineering), Assistant Professor, Department of Industrial Power Supply Systems, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia. E-mail: pavel.matrenin@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5704-0976>.

Stepan A. Dmitriev

Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Department of Automated Electrical Systems, Ural Federal University, Ural Power Engineering Institute, Yekaterinburg, Russia. E-mail: dmstepan@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8781-2383>.

Murodbek Kh. Safaraliev

Postgraduate Student, Research Engineer, Department of Automated Electrical Systems, Ural Federal University, Ural Power Engineering Institute, Yekaterinburg, Russia. E-mail: murodbek_03@mail.ru

The development of regime management plans cannot be expected without forecasts, since they directly influence upon the quality of the entire regime management process. Electricity consumption and load graphs are the basis for energy balances and are therefore the focus of attention. The robustness of the forecast balances is very high. For many years, the most common way of describing electricity consumption has been the time series. To create it, you need to know the parameters (amplitudes, frequencies and phases) of the harmonics. The problem of simulation of electric consumption and load graphs of EPS with specific properties based on the application of artificial intelligence methods is considered. The paper considers various methods of simulation of load graphs and electric consumption (application of Fourier series, gradient optimization, methods based on swarm intelligence), which imply the selection of necessary coefficients. All this will help to improve the reliability of forecasts and will make it possible to increase the use of information technologies in the planning of EPS regimes. The tool used was the experimental software developed by the authors, which has a state registration certificate. In order to verify the universality of the methods of coefficient selection under consideration, further consideration was given to the Siberian interconnection system and the isolated electric power system of Gorno-Badakhshan Autonomous Oblast (GBAO).

Keywords: power consumption forecasting, time series, Fourier series, gradient method, particle swarm method, bee swarm method.

REFERENCES

1. Filippova T.A. *Energeticheskoye rezhimy elektricheskikh stantsiy i elektroenergeticheskikh sistem* [Power modes of power plants and power systems]. Novosibirsk, Publishing house of NSTU, 2005, 300 p. (In Russian)
2. Shen W., Babushkin, V. Aung, Z. Woon, W.: An ensemble model for day-ahead electricity demand time series forecasting. In: Proceedings of the Fourth International Conference on Future Energy Systems, pp. 51-62. ACM, New York (2013).
3. Filippova T.A., Sidorkin Yu.M., Rusina A.G. *Optimizatsiya*

rezhimov elektrostantsiy i energosistem [Optimization of modes of power plants and power systems]. Novosibirsk, Publishing house of NSTU, 2016, 356 p. (In Russian)

4. Karpenko A.P. Population algorithms for global optimization. Review of new and little-known algorithms. *Prilozheniye k zhurnalu "Informatsionnyyetechnologii"* [Appendix to the journal "Information Technologies"]. 2012, no. 7, pp. 1-32. (In Russian)
5. Kennedy J., Eberhart R. Particle Swarm Optimization. Proc. of IEEE International Conference on Neural Network, 1995, pp. 1942-1948. doi: 10.1109/ICNN.1995.488968.
6. Manusov V.Z., Matrenin P.V., Orlov D.V. Optimization of transformation coefficients using directed search algorithms and swarm intelligence. *Problemy regionalnoy energetiki* [Problems of regional energy]. 2017, no. 1 (33), pp. 15-23. (In Russian)
7. Eberhart R.C., Shi Y. "Particle swarm optimization: developments, applications and resources," in Proc. Congress on Evolutionary Computation, vol. 1, pp. 81-86, 2001. doi: 10.1109/CEC.2001.934374.
8. Pham D.T., Ghanbarzadeh A., Koc E., Otri S., Rahim S., Zaidi M. The Bees Algorithm - A Novel Tool for Complex Optimisation Problems [Электронныйресурс] //Technical Note. Manufacturing Engineering Centre. Cardiff University.UK. 2005. URL: <https://svn-d1.mpi-inf.mpg.de/AG1/MultiCoreLab/papers/Pham06%20The%20Bee%20Algorithm.pdf>.
9. Karaboga D. An idea based on honey bee swarm for numerical optimization // Technical report TR06. Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department. 2005. URL: http://mf.erciyes.edu.tr/abc/pub/tr06_2005.pdf.
10. Metaxiotis K., Kagiannas A., Askounis D., Psarras J. Artificial intelligence in short-term electric load forecasting: a state-of-the-art survey for the researcher. *Energy Convers. Manag.* 44, 1525-1534 (2003).
11. Matrenin P.V. Description and implementation of algorithms for swarm intelligence using a systematic approach. *Programmaya inzheneriya* [Software Engineering]. 2015, no. 3, pp. 27-34. (In Russian)

Разработка моделей прогнозирования электропотребления на основе временных рядов в изолированных энергосистемах / Дж.Х. Худжасаидов, А.Г. Русина, П.В. Матренин, С.А. Дмитриев, М.Х. Сафаралиев // Электротехнические системы и комплексы. 2020. № 3(48). С. 23-27. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2020-3\(48\)-23-27](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2020-3(48)-23-27)

Khujasaidov J.Kh., Rusina A.G., Matrenin P.V., Dmitriev S.A., Safaraliev M.Kh. Development of Models for the Forecasting of Electricity Consumption Based on Time Series in Isolated Electrical Power Systems. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2020, no. 3(48), pp. 23-27. (In Russian). [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2020-3\(48\)-23-27](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2020-3(48)-23-27)